

AP20 Rec'd PCT/PTO 04 AUG 2006

Beschreibung

Vorrichtung und Verfahren zur Bestimmung von Raumkoordinaten eines Objekts

5

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Bestimmung von Raumkoordinaten eines Objekts mit:

- einem Projektor, der auf das Objekt ein Muster mit bekannten Projektionsdaten projiziert;
- 10 - einer Kamera, die ein Objektbild des auf das Objekt projizierten Musters erzeugt;
- einer der Kamera nachgeschalteten Datenverarbeitungseinheit, die aus dem Objektbild und den bekannten Projektionsdaten Raumkoordinaten des Objekts bestimmt.

15

Die Erfindung betrifft ferner ein Verfahren zur Bestimmung von Raumkoordinaten eines Objekts mit den Verfahrensschritten:

- Projektion eines Musters mit bekannten Projektionsdaten
- 20 auf ein Objekt,
- Erzeugen eines Objektbilds mit Hilfe einer Kamera und
- Bestimmen der Raumkoordinaten aus den bekannten Projektionsdaten in einer Datenverarbeitungseinheit.

- 25 Eine derartige Vorrichtung und ein derartiges Verfahren sind aus der DE 199 63 333 A1 bekannt. Bei der bekannten Vorrichtung und dem bekannten Verfahren wird von einem Projektor ein zweidimensionales Farbmuster auf die Oberfläche des zu untersuchenden Objekts projiziert. Eine Kamera, deren Lage bezüglich des Projektors bekannt ist, erfasst das auf das Objekt
- 30 projizierte Farbmuster. Mit Hilfe eines Triangulationsverfahrens können anschließend die dreidimensionalen Koordinaten eines Punkts auf der Oberfläche des Objekts berechnet werden.

- 35 Die bekannte Vorrichtung und das bekannte Verfahren eignen sich insbesondere zur Vermessung von großflächigen einfarbigen Gegenständen. Wenn die Oberfläche des zu vermessenden Ob-

jekts jedoch in räumlicher Hinsicht oder in Bezug auf die Einfärbung des Objektes kleinteilig strukturiert ist, ist es häufig schwierig, das Objektbild zu analysieren, da entweder das projizierte Muster aufgrund von Abschattungen oder Kanten nur unvollständig im Objektbild enthalten ist oder weil das projizierte Farbmuster durch die Einfärbung der Oberfläche des zu vermessenden Objekts verfälscht wird. Darüber hinaus ist die Ortsauflösung des bekannten Verfahrens eingeschränkt, da zur Codierung der Projektionsdaten im Farbmuster Farbflächen mit einer bestimmten räumlichen Ausdehnung verwendet werden müssen.

Ausgehend von diesem Stand der Technik liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung zu schaffen, mit denen sich auch kleinteilig strukturierte Oberflächen eines zu vermessenden Objekts mit großer Genauigkeit erfassen lassen.

Diese Aufgabe wird durch eine Vorrichtung und ein Verfahren mit den Merkmalen der unabhängigen Ansprüche gelöst. In davon abhängigen Ansprüchen sind vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen angegeben.

Die Vorrichtung zeichnet sich dadurch aus, dass wenigstens eine weitere Kamera ein weiteres Objektbild erzeugt und die Datenverarbeitungseinheit aus den Objektbildern mittels eines Triangulationsverfahrens zusätzliche Raumkoordinaten des Objekts bestimmt.

Bei der Vorrichtung können die Raumkoordinaten auf zweierlei Weise bestimmt werden. Zum einen ist es möglich, die Musterbilder unabhängig voneinander auf der Grundlage der bekannten Projektionsdaten des projizierten Musters auszuwerten. Vorzugsweise werden dabei die Raumkoordinaten aus den Musterbildern auf der Grundlage der Projektionsdaten des projizierten Musters bestimmt. Erst wenn einem Bildpunkt in einem der beiden Musterbilder keine Raumkoordinaten zugeordnet werden

können, werden in den beiden Musterbildern zueinander korrespondierende Bildpunkte gesucht und aus den Bildkoordinaten mit Hilfe eines Triangulationsverfahrens versucht, die fehlenden Raumkoordinaten zu bestimmen.

5

Bei einer bevorzugten Ausführungsform der Vorrichtung und des Verfahrens werden die zueinander korrespondierenden Bildpunkte entlang so genannter Epipolarlinien gesucht. Die Epipolarlinien sind die Projektion der einem Bildpunkt eines Musterbilds zugeordneten Sichtlinie in ein anderes Musterbild. Das auf das zu vermessende Objekt projizierte Muster ist dabei vorzugsweise so ausgebildet, dass die Epipolarlinien eine Vielzahl von Musterflächen durchqueren, so dass bei der Suche entlang der Epipolarlinien auf die im projizierten Muster codierte Ortsinformation zurückgegriffen werden kann.

10
15

Bei einer weiteren bevorzugten Ausführungsform enthält das auf das Objekt projizierte Muster redundant codierte Ortsinformationen. Dadurch können Fehler beim Decodieren des Musters eliminiert werden.

20

Weitere Eigenschaften und Vorteile der Erfindung gehen aus der nachfolgenden Beschreibung hervor, in der Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand der beigefügten Zeichnung erläutert werden. Es zeigen:

25

Fig. 1 eine Vorrichtung zur Bestimmung der räumlichen Struktur eines Objekts; und

30 Fig. 2 eine Darstellung der Vorrichtung aus Fig. 1 mit eingezeichneten Sichtlinien und Bildkoordinatensystemen.

Fig. 1 zeigt eine Messvorrichtung 1 zur Bestimmung der räumlichen Struktur eines Objekts 2. Die Messvorrichtung 1 umfasst einen Projektor 3, der ein Muster 4 auf eine Oberfläche 5 des Objekts 2 projiziert. Neben dem Projektor 3 sind Kame-

35

ras 6 angeordnet, die das auf das Objekt 2 projizierte Muster 4 erfassen. Die Kameras 6 sind jeweils an einem Rechner 7 angeschlossen.

5 Die Kameras 6 erzeugen die in Fig. 2 dargestellten Musterbilder 8 und 9. Die Lagen von Bildpunkten S_l und S_r in den Musterbildern 8 und 9 werden mit Hilfe von Bildkoordinatensystemen 10 und 11 beschrieben. Weiterhin sind in Fig. 2 Objektivkoordinatensysteme 12 und 13 dargestellt, die die Lage von
10 Objektiven der Kameras 6 verdeutlichen. In der Praxis befinden sich die Musterbilder 8 und 9 in Strahlrichtung hinter den Objektiven der Kameras 6 und 7. Der Einfachheit halber sind jedoch in Fig. 2 die Musterbilder 8 und 9 in Strahlrichtung vor den Objektivkoordinatensystemen 12 und 13 eingezeichnet.
15 An den geometrischen Verhältnissen ändert sich jedoch dadurch nichts.

Ferner sind in Fig. 2 Sichtlinien 14 und 15 eingezeichnet, die jeweils von einem Objektpunkt S auf der Oberfläche 5 des
20 Objekts 2 zu einem Ursprung O_l des Objektivkoordinatensystems 12 und zu einem Ursprung O_r des Objektivkoordinatensystems 13 verlaufen. Entlang der Sichtlinien 14 und 15 wird der Objektpunkt S im Musterbild 8 auf den Bildpunkt S_l und im Musterbild 9 auf den Bildpunkt S_r abgebildet. Die Bildpunkte S_l und
25 S_r werden auch als korrespondierende Bildpunkte bezeichnet. Die zueinander korrespondierenden Bildpunkte S_l und S_r liegen auf epipolaren Linien 16 und 17, die jeweils die Projektion der Sichtlinien 14 und 15 in das jeweils andere Musterbild 8 und 9 sind.

30 Die Oberflächenkoordinaten der Oberfläche 5 des Objekts 2 können bei der Messvorrichtung 1 zum einen gemäß dem Strukturierten-Licht-Ansatz bestimmt werden. Bei diesem Verfahren wird beispielsweise wie in Fig. 1 und 2 dargestellt, das zu
35 vermessende Objekt mit einem Streifenmuster beleuchtet. Zu jedem Bildpunkt in den Musterbildern 8 und 9 ist nun die Ebene zu identifizieren, in der der Objektpunkt S liegt, der dem

Bildpunkt S_l oder Bildpunkt S_r entspricht. Diese Aufgabe wird auch als Identifikationsproblem bezeichnet. Da die Winkel bekannt sind, unter denen ein Streifen des Musters 4 auf das Objekt 2 projiziert wird, kann der Winkel der Sichtlinie 14
5 oder 15 nach Identifikation der jeweiligen Ebene oder des jeweiligen Streifens im Musterbild 8 oder 9 bestimmt werden. Da ferner der Abstand zwischen dem Projektor 3 und der jeweiligen Kamera 6 bekannt ist, kann durch Triangulation der Abstand des Objektpunkts S aus einem der Musterbilder 8 oder 9
10 bestimmt werden.

Beim Codierten-Licht-Ansatz, einer abgewandelten Ausführungsform des Strukturierten-Licht-Ansatzes, wird das Identifikationsproblem dadurch gelöst, dass nacheinander verschiedene,
15 aus Streifen zusammengesetzte Muster 4 auf das Objekts 2 projiziert werden, wobei die Streifenbreiten der Muster 4 variieren. Für jede dieser Projektionen wird ein Musterbild 8 oder 9 aufgenommen und für jeden Bildpunkt im Musterbild 8 oder 9 wird die jeweilige Farbe festgestellt. Bei Schwarz-
20 Weiß-Bildern beschränkt sich die Feststellung der Farbe auf die Feststellung, ob der jeweilige Objektpunkt hell oder dunkel erscheint. Für jeden Bildpunkt ergibt nun die Feststellung der bei einer bestimmten Projektion angenommenen Farbe einen mehrstelligen Code, durch den die Ebene identifiziert werden kann, in der der zugehörige Objektpunkt S liegt.
25

Mit dieser Ausführungsform des Codierten-Licht-Ansatzes lassen sich besonders hohe Auflösungen erzielen. Weil jedoch bei diesem Verfahren jeder Objektpunkt S während der Projektion
30 seine Lage beibehalten muss, eignet sich das Verfahren nur für statische unbewegte Objekte, aber nicht für sich bewegende oder sich verformende Objekte, wie beispielsweise Personen oder bewegte Objekte auf einer Transporteinrichtung.

35 Bei einer modifizierten Ausführungsform des Codierten-Licht-Ansatzes werden die jeweiligen Ebenen räumlich in ein- oder zweidimensionalen Mustern codiert, indem die Projektsdaten

oder Ortsinformationen durch Gruppen von benachbarten verschiedenfarbigen Streifen oder Rechtecken oder durch verschiedene Symbole codiert werden. Die Gruppen von benachbarten verschiedenfarbigen Streifen oder Rechtecken, die eine Ortsinformation enthalten, werden im Folgenden Marken genannt. Eine derartige Marke besteht beispielsweise aus der horizontalen Folge von jeweils vier benachbarten farbigen Streifen, wobei die einzelnen Marken auch überlappen können. Die in den Musterbildern 8 und 9 enthaltenen räumlichen Marken werden im Rechner 7 decodiert und dadurch werden die Ortsinformationen zurückgewonnen. Wenn die Marken vollständig in den Musterbildern 8 und 9 sichtbar sind, lassen sich mit diesem Verfahren die Koordinaten der Oberfläche 5 des Objekts grundsätzlich auch dann gewinnen, wenn sich das Objekt 2 bewegt. Die Zuverlässigkeit bei der Decodierung der Marken kann noch weiter gesteigert werden, indem zur Codierung der Marken redundante Codes verwendet werden, die das Erkennen von Fehlern erlauben.

Die Decodierung derartiger Codes kann mit handelsüblichen Arbeitsplatzrechnern 7 in Echtzeit durchgeführt werden, da für jeden Bildpunkt des Musterbilds 8 oder 9 nur eine begrenzte Umgebung analysiert werden muss.

Wenn die zu vermessende Oberfläche 5 jedoch räumliche Strukturen aufweist, die kleiner als die projizierten Marken sind, kann es zu Schwierigkeiten bei der Decodierung kommen, da unter Umständen Marken nicht vollständig sichtbar sind. Darüber hinaus kann die Reflexion an der Oberfläche 5 auch gestört sein. Beispielsweise kann die Oberfläche 5 selbst ein Streifenmuster zeigen, das auf die Oberfläche 5 projizierte Muster 4 stark stört. Ein solches das projizierte Muster 4 stark störendes Muster ist beispielsweise das Streifenmuster eines Barcodes. Weiterhin treten an den Rändern des Objekts 2 häufig Ungenauigkeiten bei der Bestimmung der Raumkoordinaten auf, da die Marken entlang den Rändern des Objekts abrupt abbrechen.

Bei der Messvorrichtung 1 ist zur Lösung dieser Probleme eine Vielzahl von Kameras 6 vorgesehen. Gegebenenfalls können auch mehr als zwei Kameras 6 bei einer Messvorrichtung von der Art
5 der Messvorrichtung 1 verwendet werden.

In einem ersten Verfahrensschritt werden die von den n Kameras 6 aufgenommenen Musterbilder 8 und 9 gemäß dem Strukturierten-Licht-Ansatz ausgewertet. Daraus ergeben sich dann n
10 Tiefenkarten. Im Allgemeinen treten jedoch in diesen Tiefenkarten Bereiche auf, in denen aus den oben genannten Gründen kein Tiefenwert bestimmt werden konnte. In den meisten Fällen ist der Anteil der Problembereiche, in denen keine Tiefenwerte bestimmt werden können, bezüglich der Gesamtfläche ver-
15 hältnismäßig klein.

In einem zweiten Verfahrensschritt wird nun eine Stereoverarbeitung nach dem Prinzip des Stereosehens durchgeführt.

20 Gemäß dem Prinzip des Stereosehens lassen sich die Koordinaten der Oberfläche 5 des Objekts 2 gewinnen, indem die Oberfläche 5 von den Kameras 6 aus aufgenommen wird, wobei die Positionen der Kameras 6 genau bekannt sind. Wenn, wie in Fig. 2 dargestellt, die einem Objektpunkt S zugeordneten
25 Bildpunkte S_l und S_r in den Musterbildern 8 und 9 identifiziert werden können, folgt die räumliche Position des Objektpunkts S aus dem Schnitt der mindestens zwei Sichtlinien 14 und 15. Je zwei Positionen der Kameras 6 und der Objektpunkt S bilden ein Dreieck mit einer Basis 18 bekannter Länge und
30 bekannten Basiswinkeln φ_l und φ_r . Damit lassen sich die Koordinaten des Objektpunkts S auf der Oberfläche 5 mit Hilfe der so genannten Triangulation bestimmen.

Allerdings ist das Auffinden von korrespondierenden Bildpunkten S_l und S_r mit Problemen behaftet. Die Lösung des Korrespondenzproblems wird zwar zunächst dadurch vereinfacht, dass
35 ein Objektpunkt S mit Bildpunkt S_l auf der durch S_l und die

bekannte Kamerageometrie festgelegten Sichtlinie 14 liegen muss. Die Suche nach den Bildpunkten S_r im Musterbild 9 kann sich also auf die Projektion der Sichtlinie 14 in die Bildebene der anderen Kamera 6, auf die so genannte Epipolarlinie 17 beschränken. Dennoch bleibt die Lösung des Korrespondenzproblems insbesondere unter Echtzeitbedingungen schwierig.

Grundsätzlich besteht zwar die Möglichkeit, bestimmte Annahmen über das Musterbild 8 oder 9 zu treffen. Beispielsweise kann die Annahme getroffen werden, dass die Musterbilder 8 und 9 annähernd gleich aussehen ("Similarity Constraint"), oder angenommen werden, dass die räumliche Reihenfolge der Merkmale des Objekts 2 in allen Musterbildern 8 und 9 gleich ist ("Ordering Constraint"). Diese Annahmen treffen aber nicht unter allen Umständen zu, da das Aussehen des Objekts 2 stark vom Betrachtungswinkel abhängt.

Bei der Messvorrichtung 1 wird die Lösung des Korrespondenzproblems jedoch dadurch vereinfacht, dass auf das Objekt 2 das bekannte Muster 4 projiziert wird. Bei der Messvorrichtung 1 braucht daher nur entlang der Epipolarlinien 16 und 17 nach entsprechenden Markenteilen gesucht werden. Insbesondere bei einfarbigen Flächen ist das ein wesentlicher Vorteil.

Darüber hinaus wird der Stereoverarbeitungsschritt ausschließlich in den Problembereichen durchgeführt, in denen der Strukturierte-Licht-Ansatz keine Raumkoordinaten des Objekts 2 liefern konnte. Häufig handelt es sich bei den Problembereichen um Bereiche mit ausgeprägter optischer Struktur, die durch die Projektion des Musters 4 noch verstärkt wird. Die Problembereiche sind daher für eine Verarbeitung nach dem Prinzip des Stereosehens im Allgemeinen gut geeignet.

Ferner kann der Stereoverarbeitungsschritt dazu verwendet werden, die Ortsauflösung zu steigern, da auch innerhalb der Marken Korrespondenzpunkte bestimmt werden können. So ist es mit dem kombinierten Verfahren möglich, nicht nur den Marken-

grenzen oder anderen Markenmerkmalen, sondern jedem Pixel oder Bildpunkt der Kameras 6 einen genauen Tiefenwert zuzuordnen.

- 5 Schließlich können durch die Anwendung der Messvorrichtung 1 Abschattungen vermieden werden, denn die Tiefenwerte können bereits dann berechnet werden, wenn ein Bereich der Oberfläche 5 im gemeinsamen Sichtfeld von wenigstens zwei Kameras 6 oder einer Kamera 6 und dem Projektor 3 liegt.

10

Somit ist es mit der Messvorrichtung 1 im Gegensatz zu herkömmlichen Messvorrichtungen möglich, auch bei sehr kleinen oder sehr bunten Objekten mit vielen Tiefensprüngen unter unkontrollierten Aufnahmebedingungen, zum Beispiel bei starkem

15 Fremdlicht, mit einem einzigen Paar von Musterbildern 8 und 9 genaue dreidimensionale Daten von sehr hoher Auflösung zu gewinnen. Insbesondere lassen sich dreidimensionale Daten von bewegten Objekten 2 bestimmen, wie beispielsweise von vorbeilaufenden Personen oder von Gegenständen auf einem Fließband.

20

Die Auswertung der von den Kameras 6 gelieferten Daten kann auf einem handelsüblichen Arbeitsplatzrechner in Echtzeit erfolgen.

25

Im Vergleich zu einer Vorrichtung, die allein nach dem Prinzip des Stereosehens arbeitet, ist die Messvorrichtung 1 deutlich effizienter, und aufgrund der redundanten Codierung der Muster 4 erheblich zuverlässiger. Darüber hinaus liefert die Messvorrichtung 1 auch bei optisch unstrukturierten Oberflächen zuverlässige Daten und trägt zur Reduzierung von Abschattungen bei.

30

Im Vergleich zu Vorrichtungen, die ausschließlich nach dem Strukturierten-Licht-Ansatz arbeiten, liefert die Messvorrichtung 1 genauere Daten bei Objektkanten und kleinen Oberflächen 5. Ferner werden auch dann genaue Daten erzeugt, wenn die Reflexion der Marken gestört ist. Schließlich kann auch eine höhere räumliche Auflösung erzielt werden. Auch Abschatt-

35

tungen werden im Vergleich zum Stand der Technik besser unterdrückt.

Die hier beschriebene Messvorrichtung 1 eignet sich für die
5 robuste Erfassung von fein strukturierten Oberflächen in
Echtzeit auch bei sich schnell bewegendem, farbigen Objekten
2 in unkontrollierten Umgebungen wie im Freien, in öffentlichen
Gebäuden oder in Fabrikhallen. Im Zusammenhang mit der
Konstruktion besteht die Notwendigkeit, Gegenstände für Nach-
10 bauten, für die Herstellung von Ersatzteilen oder der Erweiterung
bestehender Anlagen oder Maschinen dreidimensional zu vermessen.
Diese Aufgaben können mit Hilfe der Messvorrichtung 1 erfüllt werden.
Auch in der Qualitätssicherung kann die Messvorrichtung 1 eingesetzt
werden. Die Messvorrichtung 1 ist ferner für die Identifizierung und
15 Authentifizierung von Personen anhand biometrischer Merkmale geeignet,
zum Beispiel für die Gesichtserkennung oder die dreidimensionale Verifikation
durch eine Überprüfung der Handgeometrie. Die Messvorrichtung 1 kann
ferner auch für Aufgaben wie die Qualitätskontrolle von Lebensmitteln
oder das dreidimensionale Erfassen von Gegenständen für die Modellierung
20 von Objekten für virtuelle Realitäten im Multimedia- und Spielebereich
eingesetzt werden.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Bestimmung von Raumkoordinaten eines Objekts (2) mit:
- 5 - einem Projektor (3), der auf das Objekt (2) ein Muster (4) mit bekannten Projektionsdaten projiziert,
 - mit einer Kamera (6), die ein Objektbild (8) des auf das Objekt (2) projizierten Musters (4) erzeugt, und mit
 - 10 - einer der Kamera (6) nachgeschalteten Datenverarbeitungseinheit (7), die aus dem Objektbild (8) und den bekannten Projektionsdaten Raumkoordinaten des Objekts (2) bestimmt,
- dadurch gekennzeichnet, dass
- wenigstens eine weitere Kamera (6) ein weiteres Objektbild
- 15 (9) erzeugt und die Datenverarbeitungseinheit (7) aus den Objektbildern (8, 9) mittels eines Triangulationsverfahrens zusätzliche Raumkoordinaten des Objekts (2) bestimmt.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1,
- 20 dadurch gekennzeichnet, dass
- das Muster (4) redundant codierte Projektionsdaten enthält.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2,
- dadurch gekennzeichnet, dass
- 25 Epipolarlinien (16, 17) eine Vielzahl von Marken des Musters (4) durchqueren.
4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3,
- dadurch gekennzeichnet, dass
- 30 die Datenverarbeitungseinheit (7) die Suche nach korrespondierenden Bildpunkten (S_1 , S_r) auf Problembereiche beschränkt, in denen eine Auswertung der Musterbilder (8, 9) allein ein fehlerhaftes Ergebnis liefert.
- 35 5. Verfahren zur Bestimmung von Raumkoordinaten eines Objekts (2) mit den Verfahrensschritten:

- Projektion eines Musters (4) mit bekannten Projektionsdaten auf ein Objekt (2);
 - Erzeugen eines Objektbilds (8) mit Hilfe einer Kamera (6); und
- 5 - Bestimmen der Raumkoordinaten aus den bekannten Projektionsdaten in einer Datenverarbeitungseinheit (7),
dadurch gekennzeichnet, dass
mit Hilfe einer weiteren Kamera (6) ein weiteres Objektbild
(9) aufgenommen wird und dass bei einer fehlerhaften Bestimmung
10 der Raumkoordinaten auf der Grundlage der Projektionsdaten und einem der Musterbilder (8, 9) zusätzliche Raumkoordinaten des Objekts (2) durch eine Suche nach korrespondierenden Bildpunkten (S_1 , S_r) in den Objektbildern (8, 9) und eine
nachfolgende Triangulation bestimmt werden.
- 15
6. Verfahren nach Anspruch 5,
dadurch gekennzeichnet, dass
korrespondierenden Bildpunkte (S_1 , S_r) entlang von epipolaren
Linien (16, 17) gesucht werden.

20

1/2

FIG 1

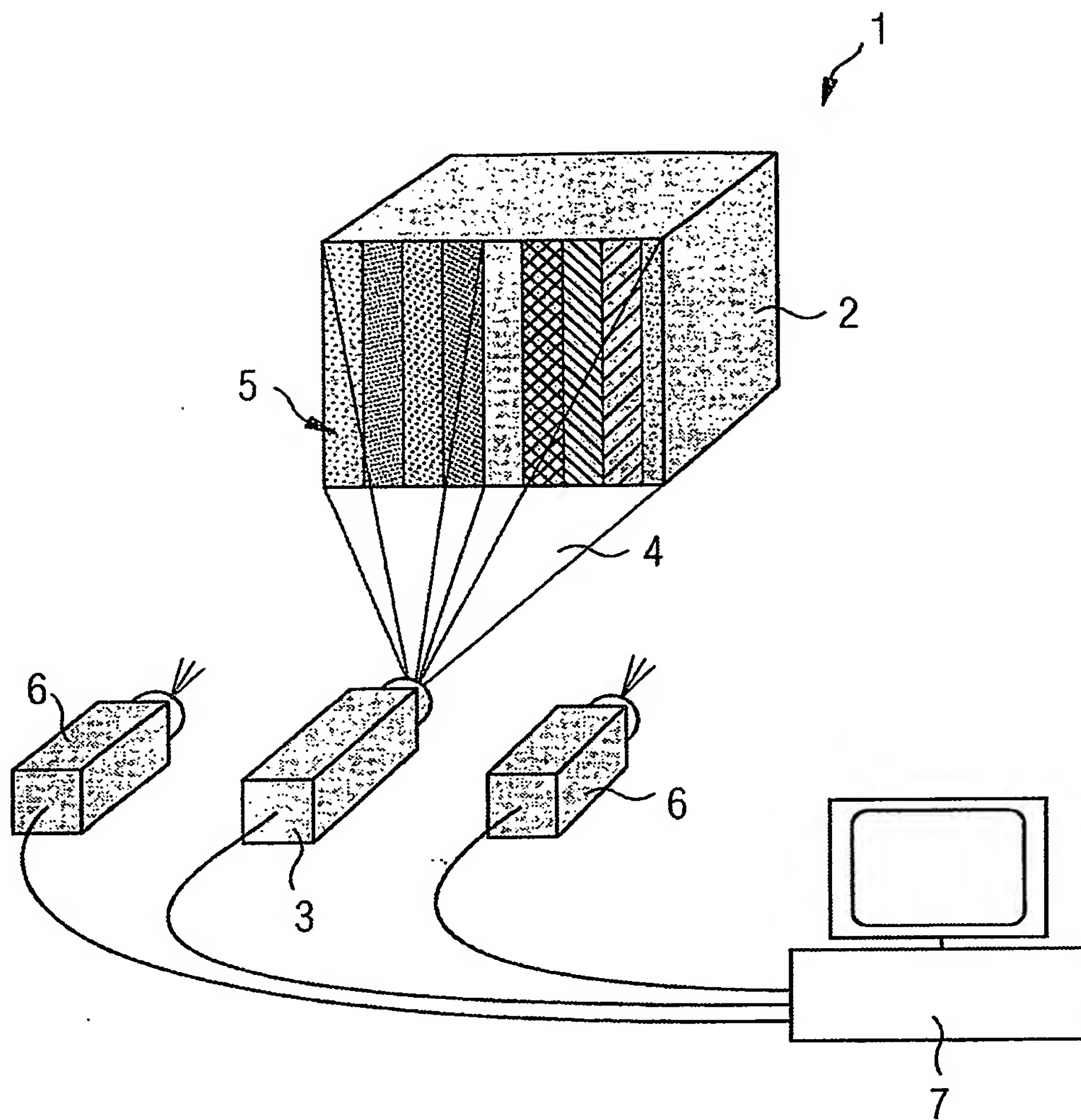
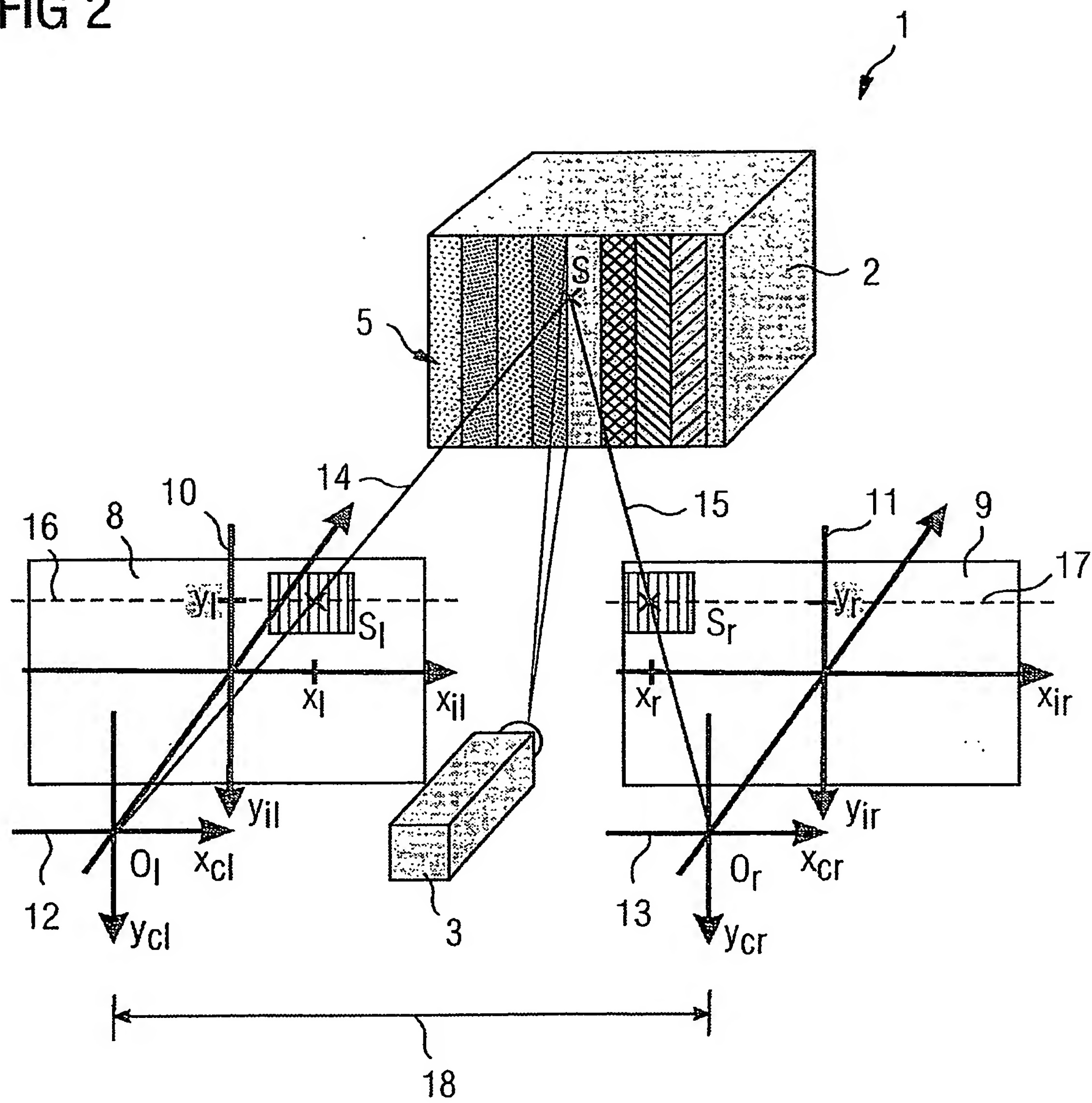


FIG 2



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP2005/050669

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 G01B11/25

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 G01B G06K

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, PAJ, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2003/112449 A1 (TU PETER HENRY ET AL) 19 June 2003 (2003-06-19) abstract; figures 1-3,6-8 paragraph '0001! - paragraph '0005! paragraph '0020! - paragraph '0030!	1,3-6
Y		2
Y	DE 102 32 690 A1 (SIEMENS AG) 12 February 2004 (2004-02-12) abstract; figure 1 paragraph '0010! paragraph '0020! - paragraph '0035!	2
X	US 4 357 108 A (STERN ET AL) 2 November 1982 (1982-11-02) abstract; figures 1,2,4-6 column 3 - column 4	1

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
- *G* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

19 May 2005

Date of mailing of the international search report

30/05/2005

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Vorropoulos, G

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/EP2005/050669

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DE 196 23 172 C1 (OTTO-VON-GUERICKE-UNIVERSITAET MAGDEBURG, 39106 MAGDEBURG, DE; MICHAEL) 23 October 1997 (1997-10-23) abstract; figures 1,3a,3b -----	1,5
A	US 6 028 672 A (GENG ET AL) 22 February 2000 (2000-02-22) abstract; figure 1 -----	1,5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/EP2005/050669

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2003112449	A1	19-06-2003	NONE
DE 10232690	A1	12-02-2004	AU 2003250787 A1 09-02-2004 WO 2004010076 A1 29-01-2004 EP 1523654 A1 20-04-2005
US 4357108	A	02-11-1982	NONE
DE 19623172	C1	23-10-1997	NONE
US 6028672	A	22-02-2000	US 6147760 A 14-11-2000

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2005/050669A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 7 G01B11/25

Nach der internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 7 G01B G06K

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, PAJ, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2003/112449 A1 (TU PETER HENRY ET AL) 19. Juni 2003 (2003-06-19) Zusammenfassung; Abbildungen 1-3,6-8 Absatz '0001! - Absatz '0005! Absatz '0020! - Absatz '0030!	1,3-6
Y		2
Y	DE 102 32 690 A1 (SIEMENS AG) 12. Februar 2004 (2004-02-12) Zusammenfassung; Abbildung 1 Absatz '0010! Absatz '0020! - Absatz '0035!	2
X	US 4 357 108 A (STERN ET AL) 2. November 1982 (1982-11-02) Zusammenfassung; Abbildungen 1,2,4-6 Spalte 3 - Spalte 4	1



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

E älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

L Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

O Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

P Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

& Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

19. Mai 2005

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

30/05/2005

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Vorropoulos, G

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	DE 196 23 172 C1 (OTTO-VON-GUERICKE-UNIVERSITAET MAGDEBURG, 39106 MAGDEBURG, DE; MICHAEL) 23. Oktober 1997 (1997-10-23) Zusammenfassung; Abbildungen 1,3a,3b -----	1,5
A	US 6 028 672 A (GENG ET AL) 22. Februar 2000 (2000-02-22) Zusammenfassung; Abbildung 1 -----	1,5

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Patentsymbol
PCT/EP2005/050669

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
US 2003112449	A1	19-06-2003	KEINE		
DE 10232690	A1	12-02-2004	AU	2003250787 A1	09-02-2004
			WO	2004010076 A1	29-01-2004
			EP	1523654 A1	20-04-2005
US 4357108	A	02-11-1982	KEINE		
DE 19623172	C1	23-10-1997	KEINE		
US 6028672	A	22-02-2000	US	6147760 A	14-11-2000

This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning Operations and is not part of the Official Record.

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☒ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.